



高职高专 **土木与建筑** 规划教材

土力学与地基基础

曾庆军 梁景章 主 编
刘秋生 张叶红 贾汝达 副主编



清华大学出版社

高职高专土木与建筑规划教材

土力学与地基基础

曾庆军 梁景章 主 编

刘秋生 张叶红 贾汝达 副主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书根据《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2002《岩土工程勘察规范》GB 50021—2002等新规范要求系统阐述了土的基本性质及工程分类、土的压缩性与地基沉降计算、土的抗剪强度与地基承载力、土压力与土坡稳定分析；重点讨论了浅基础设计与施工、桩基础设计与施工，给出了常用土力学试验指导；简要介绍了沉井基础与地下连续墙、基坑工程、软弱地基处理和岩土工程勘察的常用方法；简要讨论了地震区的地基基础。

本书的特点是理论讲述尽量简化，一般只选择土力学中的基本理论和地基基础工程设计和施工中常见的技术问题，阐述一些典型的基础工程、岩土工程经验，工程实例和计算例题较多。为便于学生复习与练习，各章都附有思考题、习题及参考答案。

本书可作高等职业学校的建筑工程、公路与桥梁工程等土木工程类专业教材，也可供建筑设计院、工程勘察院和建筑公司的工程师学习参考。

版权所有，翻印必究。举报电话：010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术，用户可通过在图案表面涂抹清水，图案消失，水干后图案复现；或将表面膜揭下，放在白纸上用彩笔涂抹，图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

土力学与地基基础/曾庆军，梁景章主编；刘秋生，张叶红，贾汝达副主编。

—北京：清华大学出版社，2006.9

(高职高专土木与建筑规划教材)

ISBN 7-302-13699-8

I. 土… II. ①曾… ②梁… ③刘… ④张… ⑤贾… III. ①土力学—高等学校：技术学校—教材 ②地基—基础(工程)—高等学校：技术学校—教材 IV. TU4

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第100694号

出版者：清华大学出版社

地 址：北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编：100084

社总机：010-62770175 客户服务：010-62776969

组稿编辑：邹 杰

文稿编辑：张彦青

排 版 者：王 婷

印 刷 者：北京国马印刷厂

装 订 者：三河市化甲屯小学装订二厂

发 行 者：新华书店总店北京发行所

开 本：185×260 印张：20 字数：474千字

版 次：2006年9月第1版 2006年9月第1次印刷

书 号：ISBN 7-302-13699-8/TU·317

印 数：1~4000

定 价：28.00元

前 言

《土力学与地基基础》是建筑工程技术专业、道路桥梁工程技术专业等土木工程类专业的主干课程，包括土力学、地基基础两部分。为了能更好地满足高等职业教育中建筑工程技术、道路桥梁工程技术等土木工程类专业培养方案的要求，考虑高等职业教育人才培养的特点，特别是考虑高等职业教育是培养生产应用型的一线人才，侧重培养学生的高级技能，由我国几所高等职业技术学院在土力学和地基基础方面有丰富教学经验的教师编写出了以建筑工程技术专业、道路桥梁工程技术专业为主体，兼顾其他土木工程类专业方向的《土力学与地基基础》教科书。

本书遵循《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2002、《岩土工程勘察规范》GB 50021—2001 等新规范、标准的要求，兼顾我国土地辽阔、各地土质各异的特点，力求反映地基基础工程、岩土工程、地基处理的新技术、新工艺。本书在编写过程中始终注意一个原则，即对土力学原理作简要阐述后，侧重说明其相关的工程应用。因此在浅基础、桩基础、基坑工程、岩土工程勘察等章节中都给出了一些工程应用实例，并涉及简单的设计计算方法和建筑施工方面的内容，着重阐述应用方面的内容，以满足高等职业教育“理论适度够用，侧重应用”的特点。

教学课时建议为 85 学时左右，其中土力学试验 10 学时左右。

本书由广东交通职业技术学院曾庆军主编和统稿，全国其他几所高等职业技术学院的教师参编。其中绪论和第 2、10 章由广东交通职业技术学院曾庆军编写；第 1 章由广西建设职业技术学院梁景章编写；第 3、9 章由山东水利职业学院刘秋生编写；第 4、5 章由内蒙古建设职业技术学院张叶红编写；第 6 章由浙江工贸职业技术学院周明荣编写；第 7、11 章由浙江工贸职业技术学院贾汝达编写；第 8 章由内蒙古建设职业技术学院杜瑞峰编写。

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

绪论.....	1	2.3.1 现场载荷试验.....	30
第1章 土的性质及工程分类.....	5	2.3.2 土体变形模量与压缩 模量的关系.....	32
1.1 土的三相组成与结构.....	5	2.4 地基中应力计算.....	33
1.1.1 土的固体颗粒.....	5	2.4.1 土层自重应力.....	33
1.1.2 土中水.....	7	2.4.2 基础底面接触压力和 附加压力.....	34
1.1.3 土中气体.....	8	2.4.3 土中应力计算.....	36
1.1.4 土的结构.....	8	2.5 地基最终沉降量计算.....	38
1.2 土的物理性质指标与测定.....	9	2.5.1 分层总和法.....	38
1.2.1 三个基本指标图.....	9	2.5.2 规范推荐方法.....	40
1.2.2 其他指标.....	10	2.5.3 由实测沉降推算 最终沉降量.....	44
1.2.3 指标之间的换算关系.....	12	2.6 饱和黏性土一维固结沉降.....	46
1.3 土的物理状态指标.....	14	2.6.1 饱和土有效应力原理.....	46
1.3.1 黏性土的物理状态指标.....	14	2.6.2 饱和黏性土单向渗透固结.....	47
1.3.2 无黏性土的密实度.....	16	2.6.3 沉降与时间关系计算.....	49
1.4 土的渗透性.....	18	2.6.4 固结理论在软黏土地基 处理中的应用.....	50
1.4.1 土的渗透定律.....	18	2.7 思考题与习题.....	50
1.4.2 渗透系数的测定与取值.....	19	第3章 土的抗剪强度与地基承载力.....	53
1.4.3 动水力和渗透破坏.....	20	3.1 概述.....	53
1.5 土(岩)的工程分类.....	21	3.1.1 土的强度构成.....	53
1.5.1 岩石.....	21	3.1.2 土的极限平衡条件.....	54
1.5.2 碎石土.....	22	3.1.3 土的强度的工程意义.....	57
1.5.3 砂土.....	22	3.2 抗剪强度指标的测定.....	57
1.5.4 粉土.....	22	3.2.1 室内直接剪切试验.....	57
1.5.5 黏性土.....	22	3.2.2 现场十字板剪切试验.....	61
1.5.6 人工填土.....	23	3.2.3 其他试验方法简介.....	61
1.6 思考题与习题.....	24	3.3 抗剪强度指标.....	64
第2章 土的压缩性与地基沉降计算.....	26	3.3.1 两类土的抗剪强度指标.....	64
2.1 概述.....	26	3.3.2 黏性土在不同排水固结 条件下的抗剪强度指标.....	65
2.2 侧限条件下土的压缩性.....	27	3.3.3 抗剪强度指标的选择.....	66
2.2.1 室内侧限压缩试验与 压缩曲线.....	27	3.4 地基承载力.....	66
2.2.2 侧限压缩性指标.....	28		
2.3 土的压缩性现场试验.....	29		

3.4.1	地基破坏形式.....	66	5.4	基础底面尺寸设计.....	120
3.4.2	地基承载力理论计算.....	68	5.4.1	中心荷载作用下基础 底面尺寸的确定.....	120
3.4.3	按规范确定地基承载力.....	72	5.4.2	偏心荷载作用下基础 底面尺寸的确定.....	123
3.5	思考题与习题.....	73	5.5	无筋扩展基础设计.....	125
第4章	土压力与土坡稳定分析.....	74	5.5.1	无筋扩展基础的适用范围.....	125
4.1	概述.....	74	5.5.2	无筋扩展基础的设计 及构造要求.....	125
4.2	土压力的类型与影响因素.....	75	5.6	扩展基础设计.....	129
4.2.1	土压力的类型.....	75	5.6.1	扩展基础的适用范围.....	129
4.2.2	土压力的大小比较.....	75	5.6.2	扩展基础的构造要求.....	129
4.2.3	影响土压力的因素.....	76	5.6.3	扩展基础的计算.....	133
4.3	土压力的计算.....	76	5.7	天然地基上浅基础的施工.....	137
4.3.1	经验法计算静止土压力.....	76	5.7.1	钢筋混凝土扩展基础的 施工要点.....	137
4.3.2	朗肯土压力理论.....	77	5.7.2	毛石基础的施工要点.....	137
4.3.3	库仑土压力理论.....	84	5.8	思考题与习题.....	138
4.4	挡土墙的设计.....	87	第6章	桩基础设计与施工.....	140
4.4.1	挡土墙的类型.....	87	6.1	桩基础概述.....	140
4.4.2	重力式挡土墙的计算 与构造.....	88	6.1.1	桩基础的适用性与特点.....	140
4.5	土坡稳定分析.....	91	6.1.2	桩与桩基础的分类.....	141
4.5.1	影响土坡稳定的因素.....	91	6.2	桩的质量检测.....	144
4.5.2	土坡设计原则.....	92	6.2.1	低应变法.....	145
4.5.3	土坡开挖规定.....	93	6.2.2	超声波法.....	146
4.5.4	无黏性土坡稳定分析.....	93	6.2.3	抽芯法.....	147
4.5.5	黏性土坡稳定分析.....	94	6.3	竖向承载力.....	148
4.6	思考题与习题.....	95	6.3.1	竖向荷载下单桩的 工作性能.....	148
第5章	天然地基上浅基础设计 与施工.....	97	6.3.2	单桩竖向极限承载力 标准值.....	149
5.1	地基与基础概述.....	97	6.3.3	单桩竖向承载力设计值.....	155
5.1.1	地基与基础设计原则.....	97	6.3.4	单桩竖向承载力特征值.....	155
5.1.2	地基与基础分类.....	100	6.3.5	桩身材料强度验算.....	155
5.2	基础埋置深度选择.....	106	6.3.6	群桩竖向承载力设计值.....	156
5.3	地基计算.....	112	6.4	桩基础设计.....	157
5.3.1	地基承载力特征值的确定.....	112	6.4.1	选择桩基础的类型.....	158
5.3.2	软弱下卧层承载力验算.....	115	6.4.2	桩的规格与承载力确定.....	158
5.3.3	地基变形验算.....	116			
5.3.4	地基稳定性验算.....	117			
5.3.5	设计算例.....	118			

6.4.3 桩的数量和平面布置.....	159	8.3.2 整体稳定性分析	225
6.4.4 桩基础验算.....	160	8.3.3 渗流稳定分析	228
6.4.5 桩基承台设计.....	163	8.4 施工与监测.....	229
6.5 桩基础施工.....	169	8.4.1 地下水控制	229
6.5.1 灌注桩施工.....	169	8.4.2 现场监测	233
6.5.2 人工挖孔桩施工.....	171	8.4.3 土方开挖	235
6.5.3 预制桩施工.....	171	8.4.4 逆作业施工技术简介	237
6.6 思考题与习题.....	172	8.5 思考题与习题.....	238
第7章 沉井基础与地下连续墙.....	173	第9章 软弱地基处理	239
7.1 沉井概述.....	173	9.1 概述.....	239
7.2 沉井的类型和构造.....	174	9.1.1 软弱地基的特点	239
7.2.1 沉井的分类.....	174	9.1.2 地基处理的目的	239
7.2.2 沉井的基本构造.....	176	9.1.3 地基处理方法的分类和 适用情况	240
7.3 沉井的施工.....	179	9.2 换填垫层法.....	241
7.3.1 旱地沉井施工.....	179	9.2.1 垫层设计	241
7.3.2 水中沉井施工.....	181	9.2.2 垫层施工	243
7.3.3 沉井施工过程中的 结构强度计算.....	182	9.2.3 质量检验	243
7.3.4 常见问题及处理.....	190	9.3 强夯法.....	244
7.4 沉井设计简介.....	192	9.3.1 概述	244
7.4.1 沉井尺寸.....	192	9.3.2 强夯法设计	244
7.4.2 承载力与自重验算.....	193	9.3.3 强夯法施工	245
7.4.3 实例解析.....	199	9.3.4 地基加固效果与质量检验	246
7.5 地下连续墙简介.....	208	9.4 预压排水固结法.....	246
7.6 思考题.....	211	9.4.1 概述	246
第8章 基坑工程.....	212	9.4.2 堆载预压法	246
8.1 概述.....	212	9.4.3 真空预压法	247
8.1.1 基坑工程的主要特点.....	212	9.4.4 质量检验与预压效果	248
8.1.2 基坑支护结构的类型 与适用条件.....	213	9.5 复合地基理论.....	249
8.1.3 支护结构的破坏类型.....	216	9.5.1 复合地基的概念与分类	249
8.1.4 基坑的安全等级.....	216	9.5.2 复合地基设计参数	250
8.2 排桩支护结构设计.....	217	9.5.3 复合地基承载力与变 形计算	250
8.2.1 悬臂式排桩.....	219	9.6 振冲碎石桩法.....	252
8.2.2 单层支锚排桩.....	221	9.7 化学加固法.....	252
8.3 基坑稳定性分析.....	225	9.7.1 水泥土搅拌法	252
8.3.1 稳定性分析的作用.....	225	9.7.2 高压喷射注浆法	253
		9.8 思考题与习题.....	254

第 10 章 岩土工程勘察及地震区地基基础255	10.5.2 勘察报告书编写实例.....273
10.1 概述.....255	10.6 地震区地基基础.....276
10.1.1 岩土工程勘察存在的问题.....255	10.6.1 地震简述.....276
10.1.2 岩土工程勘察的目的和任务.....256	10.6.2 土的液化.....277
10.1.3 岩土工程勘察分级.....256	10.6.3 地基基础抗震措施.....279
10.2 房屋建筑工程的勘察内容.....258	10.7 思考题与习题.....280
10.2.1 工作内容.....258	第 11 章 土力学试验指导283
10.2.2 各阶段勘察的内容.....258	11.1 土的密度及含水率试验.....283
10.3 野外勘察方法.....260	11.1.1 土的密度试验.....283
10.3.1 钻探与取土样.....260	11.1.2 土的含水率试验.....285
10.3.2 触探试验.....264	11.2 土的颗粒分析试验.....287
10.3.3 标准贯入试验.....270	11.3 液限、塑限联合测定试验.....290
10.4 室内土工试验内容.....272	11.4 土的击实试验.....295
10.5 勘察报告书的编写.....272	11.5 土的侧限压缩试验.....300
10.5.1 勘察报告书的一般内容.....272	11.6 直接剪切试验.....304
	参考文献309

绪 论

0.1 土力学与地基基础的研究对象

土力学与地基基础是以土为研究对象的，解决工程建设中遇到的土工问题。

1. 土

土是地壳表层岩石经受风化、剥蚀、搬运、沉积等过程，所形成的各种松软集合体。土的类型、性质千差万别。《岩土工程勘察规范》(GB 50021—2001)将土分为碎石土、砂土、粉土、黏性土等几大类。我国地域辽阔，土的性质区域性极强，沿海地区的软土、高寒地区的永冻土、西北的湿限性黄土，广泛分布的红黏土、膨胀土等特殊土除具有土的共性外，还具有自己的特点。进行工程建设时，必须充分了解建筑场地土的工程性质。

土在工程建设中有两类用途：

- (1) 作为建(构)筑物地基，在土层上修筑住宅、宾馆、混凝土大坝等建(构)筑物体。
- (2) 用作建筑材料，如公路路基填筑用砂土、黏土。

2. 土力学

土力学是工程力学的一个分支，研究土的变形、强度特性。土是由固体颗粒、水、空气三部分组成的天然物质，是一种松散体，与钢材、混凝土材料有本质的差别。土力学中提出的一些力学计算模型和计算方法，必须通过土的现场勘察及室内土工试验测定土的计算参数，因此土力学具有很强的实践性。

3. 地基、基础

1) 地基

地基是承受建(构)筑物荷载的地层，地层可以是土层，也可以是岩层。地基可分为两类。

- (1) 天然地基：不经过人工处理就可满足设计要求的地基。
- (2) 人工地基：经过人工处理加固后才能满足设计要求的地基。

2) 基础

基础是将建筑结构所承受的荷载传递到地基上的建筑结构组成部分，是建筑结构最底下的一部分(如图 0.1 所示)，可由砖石、混凝土或钢筋混凝土等建筑材料建造。基础底面一般在地面以下一定的深度。基础按基础底面在地面以下的深度分为两类。

- (1) 浅基础：基础底面不超过地面以下 3m~5m 的基础。
- (2) 深基础：基础底面超过地面以下 3m~5m 的基础，一般是由于浅层土层较软弱，须把基础埋置于深处的好土层，桩基、地下连续墙均属于深基础。

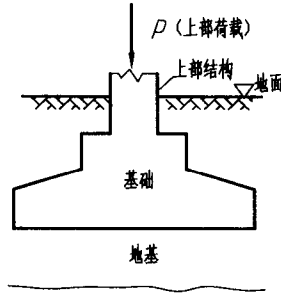


图 0.1 地基与基础

4. 地基基础设计原则

1) 承载力要求

通过基础传递给地基的荷载不得超过地基容许承载力，并要有足够的安全余量，以免地基承载力不足发生地基失稳，使建筑物的正常使用受到影响。

2) 变形要求

基础变形不得超过地基变形容许值，保证建筑物不因地基变形而影响正常使用。比如由于地基沉降过大，地面上一层住房楼面将低于地面标高，从而影响居民生活；公路路基沉降过大将影响公路线形的平滑性与美观，也影响交通。

由于地基承载力不足或变形过大引起的工程事故，其后果常很严重，举例如下。

(1) 我国某地区一座 7 层旅店大楼因地基承载力不足而失稳倒塌。

该大楼地处沿海淤泥和淤泥质土地区，设计人员在没有工程地质勘察资料的情况下，盲目地按 100kPa~120kPa 的地基承载力进行设计。事故发生后，在建筑现场旁边 1.8m 的地表下取土进行室内试验，该淤泥土地基容许承载力只有 40kPa~50kPa，仅为设计承载力的 1/2.5。而且又由于少算了上部结构荷载，实际柱基础底面压力达 189.6kPa，为地基容许承载力的 4 倍。由此导致建筑物破坏倒塌。

(2) 墨西哥市艺术宫严重下沉影响使用。

墨西哥首都墨西哥市艺术宫，是一座巨型的具有纪念性的早期建筑。此艺术宫于 1904 年落成，至今已有一百余年的历史。土层结构是：表层为人工填土与砂夹卵石硬壳层，厚度为 5m；表层下为超高压缩性淤泥，天然含水量（土中水的重量与固体土颗粒的重量之比称为含水量）高达 150%~600%，为世界罕见的软弱土，层厚达 25m。因此，这座艺术宫严重下沉，沉降量竟高达 4m。临近的公路下沉 2m，公路路面至艺术宫门前高差达 2m。参观者需步下 9 级台阶，才能从公路进入艺术宫。这是地基沉降最严重的典型实例。

(3) 加拿大特朗斯康谷仓地基滑动使建筑物整体倾倒。

加拿大特朗斯康谷仓平面投影呈矩形，它的长 59.44 m，宽 23.47m，谷仓高 31m，容积 36368m³。谷仓为圆筒仓，每排 13 个圆筒仓，共 5 排 65 个圆筒仓组成。谷仓的基础为钢筋混凝土筏基，厚 61cm，基础埋深 3.66m。谷仓于 1911 年开始施工，1913 年秋完工。谷仓自重 20 000t，相当于装满谷物后满载总重量的 42.5%。1913 年 9 月起往谷仓装谷物，谷物均匀分布，10 月 17 日当谷仓装了 31822m³ 谷物时，发现 1 小时内垂直沉降达 30.5cm。结构物向西倾斜，并在 24 小时内谷仓倾倒，倾斜度离垂线达 26°53'，谷仓西端下沉 7.32m，

东端上抬 1.52m, 但上部钢筋混凝土筒仓却坚如磐石, 仅有极少的表面裂缝, 如图 0.2 所示。

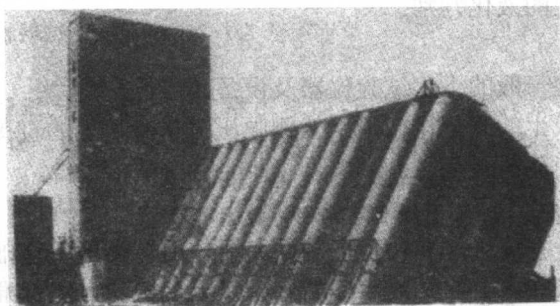


图 0.2 加拿大特朗斯康谷仓因地基滑动而整体倾倒

1952 年经过勘察试验与计算, 发现加拿大特朗斯康谷仓发生地基滑动破坏、建筑物倾倒的主要原因是: 该谷仓地基土层事先未作勘察、试验与研究, 采用的设计荷载超过地基土实际承载力。由于谷仓整体刚度较高, 地基破坏后, 筒仓仍保持完整, 只发生整体倾倒。

0.2 本课程的内容及学习目标

1. 课程地位与特点

土力学与地基基础课程是土木工程专业的一门主干课程, 包括土力学、地基基础两部分, 土力学属于专业基础范畴, 地基基础属于专业范畴。本课程与材料力学、结构力学、建筑材料、建筑结构及工程地质等课程紧密相关。

2. 本书内容

第 1 章介绍土的基本性质及工程分类, 是本课程的基本知识; 第 2 章至第 3 章涉及土力学基本理论, 也是本课程学习的重点内容之一, 介绍土的压缩特性、土中应力分布计算、土的抗剪强度、地基沉降计算、地基承载力计算等; 第 4 章介绍土压力、挡土墙的设计计算及土坡稳定分析; 第 5 章至第 9 章属于基础工程内容, 主要介绍浅基础设计与施工、桩基础设计与施工、软弱地基处理常用方法, 简要介绍了沉井基础、地下连续墙和基坑工程; 第 10 章介绍岩土工程勘察的常用方法, 勘察报告的要点, 以及土的液化判别; 第 11 章给出常用土力学实验指导。

3. 学习目标

通过学习本课程, 应达到如下目标。

1) 知识目标

(1) 熟练掌握土的主要物理性质的概念, 物理指标的测定与换算, 以及如何用物理指标对土体进行评价和分类; 计算简单情况下土中应力、地基沉降、挡土墙上的土压力, 会进行简单情况下的土坡稳定分析、地基承载力确定; 能应用《建筑地基基础设计规范》及相关规范, 熟练设计与验算简单情况下的浅基础。

(2) 了解桩基础的计算原理、沉井基础与地下连续墙的工作原理, 掌握桩基础的一般

施工与检测方法；掌握基坑支挡和地基处理的基本方法；掌握常用岩土工程勘察方法的要点，会对简单情况下土的液化判别。

2) 技能目标

(1) 能使用和校验一般的土工试验仪器及设备。

(2) 能较好地完成土的筛分试验、土的侧限压缩试验、土的直接剪切试验、土的液塑限联合测定试验等一些基本的室内土工试验，并能写出试验报告。

(3) 会编写简单的岩土工程勘察试验报告。

(4) 结合土力学基本理论，能初步正确、灵活使用各类地基基础规范、标准，如《岩土工程勘察规范》、《原状土取样技术标准》、《土工试验方法标准》、《建筑地基基础设计规范》、《建筑桩基技术规范》、《建筑地基处理技术规范》等。

第 1 章 土的性质及工程分类

本章学习目标

- 本章的重点内容是土的性质和物理状态指标以及土的工程分类。
- 了解土的三相组成和土的结构对土工程性质的影响。
- 了解土的渗透性。
- 掌握土的物理性质指标和物理状态指标，能进行土的工程分类。

1.1 土的三相组成与结构

土是由岩石经风化(物理风化、化学风化、生物风化)生成的松散堆积物。它的物质成分包括构成土骨架的固体颗粒及填充在孔隙中的水和气体。一般情况下，土是由固体颗粒(固相)、水(液相)和气体(气相)所组成，故称为三相体系。但在特殊条件下，土可能由二相组成，如：干土(固体+气体)和饱和土(固体+液体)。土中三相比例不同，土的物理状态和工程性质也随之各异。因此，要研究土的工程性质就必须了解土的组成与结构。

1.1.1 土的固体颗粒

土的固体颗粒是土的三相组成中的骨架，是决定土的工程性质的主要因素。它的矿物成分、颗粒大小、形状与级配是影响土的物理性质的重要因素。

1. 土的矿物成分

土粒中的矿物成分分两类。

1) 原生矿物

由岩石经物理风化而成，其成分与母岩相同，这种矿物称为原生矿物。常见的有石英、长石、云母等，它们的性质较稳定。砾石和砂主要由原生矿物组成。

2) 次生矿物

在水溶液、大气及有机物的化学作用或生物化学作用下，不仅破坏了岩石的结构，而且使其生成一种很细小的新的矿物，这种矿物称为次生矿物，主要是黏土矿物，常见的黏土矿物有蒙脱石、伊利石和高岭石三种。由于黏土矿物颗粒很细(粒径 $d < 0.005\text{mm}$)，颗粒的比表面(单位体积或单位质量的颗粒的总表面积)很大，所以颗粒表面具有很强的与水作用的能力。土中含黏土矿物越多，则土的黏性、塑性和膨胀性也越大。

2. 土的颗粒大小与形状

1) 粒组划分

土颗粒的大小与土的性质有密切关系。土粒径发生变化，其主要性质也相应发生变化。例如，土的粒径从大到小，则可塑性从无到有；黏性从无到有；透水性从大到小。工程上

将各种不同的土颗粒按性质相近的原则划分为若干组，称为粒组。粒组划分见表 1.1。

表 1.1 土粒粒组的划分

粒组名称	粒径范围 (mm)	一般特征
漂石或块石颗粒	>200	透水性大，无黏性，无毛细水
卵石或碎石颗粒	20~200	透水性大，无黏性，无毛细水
圆砾或角砾颗粒	2~20	透水性大，无黏性，毛细水上升高度不超过粒径大小
砂粒	0.075~2	易透水，当混入云母等杂物时透水性减小，而压缩性增加；无黏性，遇水不膨胀，干燥时松散；毛细水上升高度不大，随粒径变小而增大
粉粒	0.005~0.075	透水性小；湿时稍有黏性，遇水膨胀小，干时稍有收缩；毛细水上升高度较大较快，极易出现冻胀现象
黏粒	<0.005	透水性很小；湿时有黏性、可塑性，遇水膨胀大，干时收缩显著；毛细水上升高度大，且速度较慢

2) 颗粒级配

自然界里的天然土，往往由多个粒组组成。土的颗粒有粗有细，土粒的大小及组成情况通常以各个粒组的相对含量(各粒组占土粒总质量的百分数)来表示，称为土的颗粒级配。颗粒级配分析方法，可通过颗粒分析试验得到。工程上常用筛分法和比重计法两种试验。筛分法适用于粒径 $d \geq 0.075\text{mm}$ 的土。试验时将风干、分散的试样，放入一套从上到下，筛孔由粗到细排列的标准分析筛(筛孔直径分别为 20mm, 10mm, 2.0mm, 0.5mm, 0.25mm, 0.075mm)进行筛分，称出留在各个筛孔上的颗粒重量，便可计得相应的各粒组的相对含量。比重计法适用于粒径 $d < 0.075\text{mm}$ 的土，该法根据土粒直径不同，在水中沉降速度也不同的关系测得(详见有关土木试验操作规程)。

根据土的颗粒分析试验结果，绘制土的颗粒级配曲线，如图 1.1 所示，纵坐标表示小于(或大于)某粒径的土重含量百分比，横坐标表示粒径(因土颗粒的粒径相差千百倍，故宜用对数比例尺)。

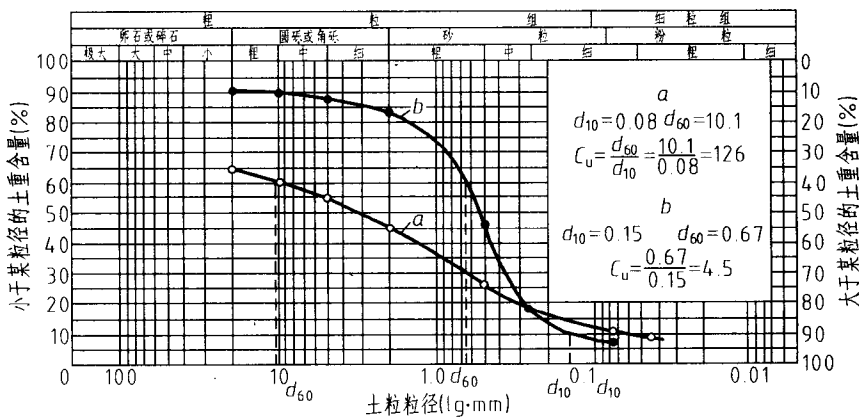


图 1.1 颗粒级配曲线

如曲线平缓,表示粒径相差悬殊,粒径不均匀,较大颗粒间的孔隙被较小的颗粒所填充,土的密实度较好,称为级配良好的土;反之,曲线很陡,表示粒径均匀,即级配不好。工程上为了定量反映土的级配特征,常用两个指标。

$$\text{不均匀系数: } C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-1)$$

$$\text{曲率系数: } C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}} \quad (1-2)$$

式中: d_{10} ——有效粒径,表示小于某粒径的土粒质量占土总质量为10%时的粒径;

d_{60} ——有效粒径,表示小于某粒径的土粒质量占土总质量为60%时的粒径;

d_{30} ——有效粒径,表示小于某粒径的土粒质量占土总质量30%时的粒径。

不均匀系数 C_u 反映大小不同粒组的分布情况, C_u 越大,表示粒径分布越不均匀,土的级配良好。曲率系数 C_c 则是反映级配曲线的整体形状。一般认为 $C_u < 5$ 的土视为级配不好; $C_u > 10$, $C_c = 1 \sim 3$ 时为级配良好的土。

1.1.2 土中水

土中水按其存在形态,可分为固态水、液态水、气态水三种。

1. 固态水

固态水是指土中水在温度降至 0°C 以下时结成的冰。水结冰后体积会增大,使土体产生冻胀,破坏土的结构。但冻土融化后,强度急剧降低,对地基不利,因此,寒冷地区基础的埋置深度要考虑冻胀问题。

2. 液态水

液态水包括紧紧吸附于固体颗粒内部的结晶水和结合水及自由水三类。

1) 结晶水

存在于颗粒矿物内部,只有在比较高的温度下才能化为气态水而与土粒分离。从土的工程性质看,可以把结晶水看作矿物颗粒的一部分。

2) 结合水

结合水是指受分子吸引力吸附于土粒表面而形成一定厚度的水膜。分强结合水和弱结合水两类。

强结合水,是紧靠土粒表面的结合水,所受电场的作用力很大,丧失液体的特性而接近于固体,它没有溶解能力,不能传递静水压力,只有在 105°C 温度时,才能蒸发。

弱结合水,弱结合水是强结合水以外,电场作用范围以内的水,它也不能传递静水压力,呈粘滞状态,对黏性土的性质影响最大。当黏性土含有一定的弱结合水时,土具有一定的可塑性。

3) 自由水

自由水是指土中在结合水膜以外的液态水,其性质与普通水相同,服从重力定律,能传递静水压力,有溶解能力,按其移动所受作用力不同可分重力水和毛细水两种。重力水,指受重力或压力差作用而移动的自由水。存在于地下水位以下的透水层中。毛细水,是指

受到水与空气交界面处表面张力作用的自由水。一般存在于地下水位以上的透水层中。由于表面张力作用，地下水沿着不规则的毛细孔上升，形成毛细水上升带。毛细水上升高度视孔隙大小而定，粒径大于 2mm 的颗粒，土孔隙较大，一般无毛细现象。毛细水上升，会使地基湿润，强度降低，变形增加。在寒冷地区还会加剧地基的冻胀作用。故在建筑工程中要注意防潮。

3. 气态水

土中气态水赋存于近地表土层，对土的力学性质影响不大。

1.1.3 土中气体

土中气体存在于孔隙中未被水所占据的部位。在粗粒径中常见到与大气相连通的空气，它对土的力学性质影响不大。在细粒径土中则常存在与大气隔绝的封闭气泡，当土受到荷载作用时，封闭气泡缩小，卸荷时又膨胀，使土具有弹性，称为“橡皮土”，土体的压实变得困难。若土中封闭气泡很多时，将使土的渗透性降低。

1.1.4 土的结构

土的结构是指土颗粒大小、相互排列及联结关系的综合特征。土的结构分为单粒结构、蜂窝结构和絮状结构三种类型。

1. 单粒结构

单粒结构是由砂粒或更粗大的颗粒在水和空气中沉积形成。因其颗粒较大，土粒间的分子引力相对很小，所以颗粒之间几乎没有联结。单粒结构土的紧密程度随其沉积的条件不同而异。如果土粒沉积速度较快，如洪水冲积而成的砂层和砾石层，往往形成松散的单粒结构，如图 1.2 所示。当土粒沉积缓慢，则形成密实的单粒结构，如图 1.3 所示。由于土粒排列紧密，强度较高，压缩性小，是较好的天然地基。对疏松的单粒结构的土，土的孔隙大，骨架不稳定，当受到振动及其他外力作用时，土粒容易发生相对移动，会产生很大的变形。因此，这种土层如未经处理一般不宜作为建筑物地基。

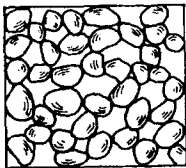


图 1.2 松散的单粒结构

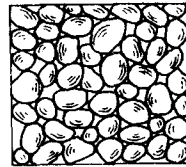


图 1.3 密实的单粒结构

2. 蜂窝结构

当较细的土粒(如粉粒：粒径为 0.005mm~0.075mm)在水中下沉碰到已沉积的土粒，因土粒之间的分子引力大于土粒自重，则下沉的土粒被吸引不再下沉。依次一粒粒被吸引，形成具有很大孔隙的蜂窝状结构，如图 1.4 所示。

3. 絮状结构

絮状结构是由黏粒(粒径 $\leq 0.005\text{mm}$)集合体组成的结构形式。黏粒在水中处于悬浮状态,不会因单个颗粒的自重而下沉。这种土粒在水中运动,相互碰撞吸引逐渐形成小链环状而下沉,碰到另一个小链环时相互吸引,形成空隙很大的絮状结构,如图 1.5 所示。

具有蜂窝结构和絮状结构的土,颗粒间存在大量微细孔隙,其压缩性大,强度低,透水性弱。又因土粒之间的联结较弱且不稳定,在受扰动力作用下(如施工扰动影响),土的天然结构受到破坏,土的强度会迅速降低;但土粒之间的联结力(结构强度)也会由于长期的压密作用和胶结作用而得到加强。

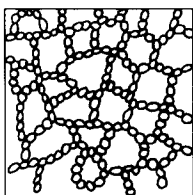


图 1.4 蜂窝状结构

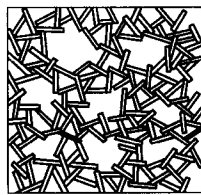


图 1.5 絮状结构

1.2 土的物理性质指标与测定

前述是定性分析土的三相组成对土的性质影响。三相组成比例不同,土的性质不同,因此需要定量研究土的三相之间的比例关系,即物理性质指标,土的三相组成可用图 1.6 表示。

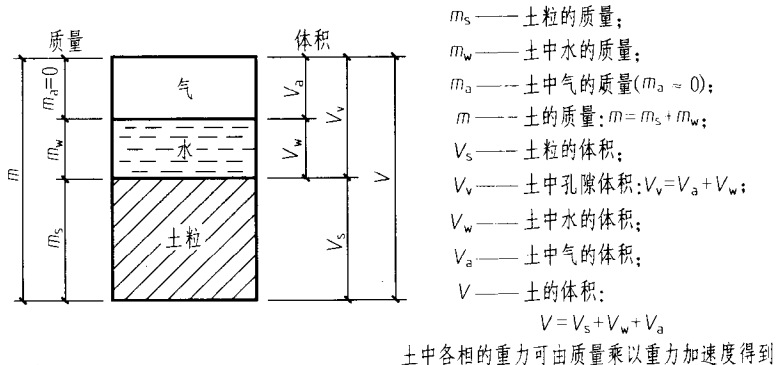


图 1.6 土的三相组成图

1.2.1 三个基本指标图

此三个指标,均通过实验直接测定,故称基本指标。

1. 土的密度 ρ 和土的重度 γ

单位体积土的质量,称为土的质量密度,简称密度,用 ρ 表示: